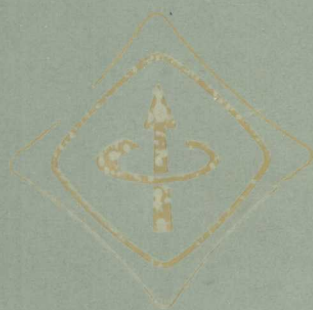


International Conference

ICR-90

国际雷达会议录



机械电子部 工业部 雷达专业情报网

International Conference

ICR-90

国际雷达会议录



朱冰达 教授 赠

机械电子部 工业部 雷达专业情报网

2013035109

主 编

曾俭恭

副 主 编

丁燮华

责 任 编 辑

母世高 陈祥占 徐产兴

庄锡林 戴可达 王泰荣

庄灿远 许云剑

0012308108

序 言

1990国际雷达会议于今年五月在美国举行，共有123篇论文（其中有10篇没有发表，目录中用星号标出）。这些文章反映了近年来各国在雷达技术上的主要进展。

与一些新兴的科技领域相比，雷达技术是较为成熟的。但由于雷达的应用范围日益扩大，以及雷达观测目标的性能的发展和雷达工作环境的不断恶化，因此对雷达的性能要求越来越高，希望从雷达回波中提取的信息日益增加，对雷达的生存能力、反隐身能力等也提出了一系列需要解决的难题。针对这种需要，在发展雷达理论的同时，天线与微波技术、功率器件、特别是固态功率器件、MMIC、HMIC、大规模集成电路、数字信号处理、数据处理及计算机技术的发展也给雷达技术的发展提供了新的条件。从这次国际雷达会议上发表的多数文章所反映的趋势看，雷达成象技术（包括SAR、ISAR）、相控阵技术、自适应处理、信号处理与极化技术越来越受到重视。在这些雷达技术项目中，虽然国内雷达界的同行在元器件、工艺结构上受到限制，但仍然取得了较好的研究成果，这反映于我国作者在会上发表的几篇文章中。

为了加速信息交流，与往年一样，由雷达专业情报网组织翻译、出版本届的国际雷达会议录。本文集能在半年多的时间内与读者见面，应首先感谢参与这一论文集翻译、校对、出版的各个成员单位及所有有关同志。

希望这一论文集的中译本能促进我国雷达事业的发展，促进同行间的技术交流！

雷达专业情报网网长 张光义

一九九〇年十二月

编者的话

一九八九年九月雷达专业情报网第八届年会审查了《87年国际雷达会议录》的翻译出版工作，对所取得的成绩表示满意。年会认为：利用网内成员单位的人力和物力，调动全网单位的积极性，合力翻译出版国际雷达会议录，确是一个好办法。因此，年会决定继续翻译出版《90年国际雷达会议录》，以满足我国雷达事业发展的需要。

根据情报网第八届年会的决定，一九九〇年五月二十八日~三十日在南京由网秘书长周伯行主持召开了《90年国际雷达会议录》的翻译出版筹备会议。与会同志详细讨论了各有关事宜，表示要兢兢业业地做好这项工作，不辜负全网同志的委托和期望。

参加本届会议录翻译、编辑和出版的单位及其负责人有：

1~110页由中国船舶总公司七二三研究所母世高负责，

111~258页由机械电子工业部第十四研究所丁燮华和

第二十研究所黄昭德负责，

259~358页由机械电子工业部第二十二研究所陈祥占负责，

359~462页由中国船舶总公司七二四研究所徐产兴负责，

463~518页由上海无线电四厂庄锡林负责，

519~654页由空军第二研究所戴可达负责，

655~742页由机械电子工业部第二十八研究所王泰荣负责，

743~880页由南京七二〇厂庄灿远负责，

881~986页由航空航天工业部六〇七研究所许云剑负责。

本中译本仅以八个月的时间就能和读者见面，是与上述单位的大力支持分不开的，也与全网成员单位的关怀和支持分不开。我们借此机会表示深切的谢意。中译本有不当之处，希望读者批评指正。

目 录

系 统

一种能完成多种任务的新型战术固态空中交通管制雷达AN/TPS-73	(111)
ARSR-4: 解决早已公认的一些雷达难题的独特方法	(743)
终端区多普勒气象雷达的杂波控制	(519)
AN/MPS-39 多目标跟踪雷达	(*)
海军火控雷达设计中的参数选择	(1)
用于星球表面分析的雷达高度表	(754)
岸基高频地波频率捷变雷达在强海杂波与干扰背景下对舰船目标的检测	(385)
为轨道机动飞行器研制的交会雷达	(529)

成 象 雷 达

合成孔径雷达基于WIGNER-VILLE分布对活动目标检测和成象的新方法	(691)
旋转天线合成孔径雷达(ROSAR)的可行性	(172)
一种生成SAR图象的改进多视技术	(182)
用混合式SAR-ISAR对舰船成象	(85)
用反射率移位法从合成孔径雷达的原始数据提取飞机运动误差时的 ISAR 剩余误差估算	(765)
空间用具有测地下能力的合成孔径雷达/高度计雷达设想	(472)
一种工作在C波段的合成孔径雷达校准应答器	(777)
核环境对合成孔径雷达性能的制约	(*)

现象学与干扰(张贴文章)

脉冲压缩雷达中HILBERT T滤波的可选解法	(439)
高频雷达波束形成和象差校正	(303)
机载雷达的软件开发	(881)
存在未知噪声场情况下窄带相干和非相干源到达方向的估算	(323)
雷达检测灵敏度与目标维数的关系	(420)
低截获概率雷达信号的截获	(541)
顺序统计恒虚警检测器的检测性能和收缩式结构	(785)

子 系 统

自由空间超宽带雷达: 各种设想和问题	(*)
相参雷达系统性能评估	(796)
探测埋地目标的探地雷达	(259)
S波段高功率固态雷达发射机的探索性研制	(118)

一种发射机的自动相位校正系统	(500)
用于行星雷达的1MW连续波X波段发射机的初步设计	(129)
一种适用于多功能雷达的实验型自适应数字脉冲压缩系统	(139)
相干雷达零差技术述评	(16)

动 目 标 显 示

MTI与相参积累的级联及其运动补偿	(889)
动目标显示雷达的性能测试	(801)
参差PRF雷达的双模态杂波MTI滤波器	(33)
来自海洋表面的极低掠射角雷达后向散射	(313)
预测K分布雷达海杂波检测的经验模型	(93)
模糊距离杂波对杂波抑制的限制	(391)
波道海面杂波频谱结构的模式	(338)
杂波图在火炮定位雷达ARTHUR中的应用	(156)

目标识别和成像 (张贴文章)

雷达目标在慢起伏杂波环境中的最佳极化检测	(810)
合成孔径雷达的变化检测成像技术	(900)
适用于ERS-1卫星的新型C波段合成孔径雷达	(909)
PHARUS: 一种可测定极化的C波段合成孔径雷达	(821)
逆合成孔径雷达运动补偿的一种新方法	(192)
模拟合成孔径雷达核环境的有效算法	(*)

信 号 处 理

通过波形预矫实现传播补偿	(75)
利用数字预失真补偿模拟信号处理误差	(446)
用于二相脉冲压缩的最佳峰值副瓣滤波器	(549)
用于脉冲压缩的不匹配滤波器设计	(493)
通过信号编码的方法同时测量散射矩阵	(713)
雷达距离域的超分辨率技术	(67)
频移键控/相移键控信号的模糊特性	(102)
采用展宽处理的跳频脉组波形	(372)

天 线

鹅窝天线的试验结果	(827)
高灵活性相控阵试验雷达ELRA	(662)
用电子可控雷达(ELRA)进行实时试验估值时调整测量误差及动态参数	(723)

在主瓣干扰条件下把自适应零点控制和高分辨率角度预估技术 结合起来改善角度估算精度	(559)
固态相控阵天线(SSPA)的性能	(9)
应用固有结构的方法来校准相控阵的技术	(729)
光学馈电超低副瓣相控阵天线	(212)
采用相控阵雷达的长期积累	(359)

动目标显示(张贴文章)

X波段多功能雷达抗海杂波的距离模糊图象	(402)
前沿抖动对MTI改善因子的影响	(41)
基于噪声模型和神经网络的雷达杂波分类	(161)
机载MTI的新进展	(915)
信息合成动目标检测装置	(565)
相位噪声对湍流气象雷达谱参数估算的影响	(328)
在严重不均匀环境中最佳MTI的自适应实现方法	(837)
最小残余噪声功率意义上的具有未知谱统计的变化杂波和干扰的自适应抑制	(463)
极化对仙波强度影响的试验研究	(659)

现象学

从海洋中目标反射来的双极化雷达回波的时变频谱	(485)
用行星边界层和电磁抛物型方程模式通过与时间和距离相关的 折射大气层进行雷达作用距离预测	(280)
电离层内波束直线和非直线折射的数字模拟	(*)
加速目标的多普勒频谱	(925)
解决调频连续波雷达的单天线问题	(676)
用搜索雷达覆盖地面低空的效能——费用比研究	(571)
散射和传播对船载雷达系统的影响	(267)
极化雷达处理技术	(843)

跟踪

跟踪雷达要求的最小功率	(24)
机载雷达的检测前跟踪处理	(934)
边搜索边跟踪单脉冲——一种提高角精度和角分辨力的技术	(229)
用阵列天线进行低角跟踪数据测量时提高仰角估值精度的技术	(857)
闪烁误差对机动目标稳态跟踪精度的影响	(61)
存在主波束干扰的角测量	(51)
具有相关测量噪声的机动目标跟踪系统	(943)
分散的协方差滤波	(864)

系统与子系统 (张贴文章)

监视雷达: 过去和未来	(*)
EAGLE高精度 35GHz跟踪雷达	(409)
实现用非扫描的小型多普勒雷达探测风切变设想的雷达模拟	(580)
现代毫米波雷达系统	(598)
现代机载预警雷达	(*)
PACS: 干草堆 (Haystack) 远距离成像雷达的处理与控制系统	(148)
非自适应低副瓣阵列天线与自适应相控阵天线的比较	(618)
小口径天线宽角球面近场测量结果	(*)
相控阵雷达和“难观测目标”的检测	(698)
宽带微带天线试验研究	(363)

干扰与恒虚警率

适用于非均匀杂波中相关目标的数据合成分布式恒虚警率处理器	(626)
N个并行分布CA-CFAR接收机联网的雷达数据	
汇总中心恒虚警率的一种算法	(949)
修正型视频积累雷达检测	(671)
测量散射矩阵数据和处理该数据的极化CFAR检测器	(423)
极化目标检测算法的性能	(683)
采用离散椭球波函数实现高次谐波分辨率	(347)
多路径环境中宽带信号到达方向(DOA)估算和波束形成	(246)
旁瓣对消和旁瓣匿影的兼容和实现方法	(*)

目标识别

宽带高分辨雷达图象中的极化参数	(197)
以散射体特性为基础的极化散射矩阵分解	(640)
固定目标的相位稳定检测	(509)
非合作机动飞机的雷达成像	(956)
飞机螺旋桨叶片的雷达回波信号理论分析	(962)
基于迭代算法的雷达成像	(204)
高频/超视距雷达目标分类系统的模拟和性能	(294)
雷达视觉	(478)

信号处理与跟踪 (张贴文章)

利用COSTAS阵和互补WELTI码进行FSK/PSK调制的雷达信号分析	(456)
多目标环境中MPRF频率捷变雷达速度模糊分辨率	(969)
用模糊函数分析机载雷达	(977)

使用互补相位编码和线性步进调频混合波形的处理原理	(219)
用倒置法实现雷达回波在距离和方位上的两维压缩	(*)
防空C ³ 系统中的真实多雷达跟踪	(655)
整体化方法在多目标跟踪中的应用	(706)
跟踪要求对天基雷达(SBR)设计的影响	(239)
用隐马尔柯夫模型进行多目标跟踪	(874)
多目标鲁棒跟踪滤波器研究	(736)
最低峰值旁瓣脉冲压缩编码	(430)

海军火控雷达设计中的参数选择*

Bengt-Olof As Einar Tilfors

提要 本文叙述设计新一代高性能跟踪雷达的原理和折中考虑。雷达是控制舰对空导弹、防空或双功能火炮以及近程武器的主要传感器，所设计的雷达适装于150吨及其以上各种舰船。

概述了运用要求，优化研究考虑了下列参数：波长、发射机型式和波形、脉冲压缩原理、接收机和信号处理以及天线。

最后，给出了完整的标准设计数据。

引 言

过去20年来，图1所示的9LV200MK1和MK2跟踪雷达即火控指向器，已经成功地用于150吨及其以上各种吨位的多种舰船。所设计的跟踪雷达用于控制双功能和/或防空火炮对付空中和海面目标，并已证明在完成该使命中是十分精确和可靠的。其指向器原来配有电视摄像机，后来又增加红外热成像摄像机和激光测距仪，用以扩大运用范围，例如对付低飞目标，特别是掠海导弹，加强了昼夜能保证被动光电跟踪能力和电子抗干扰能力。

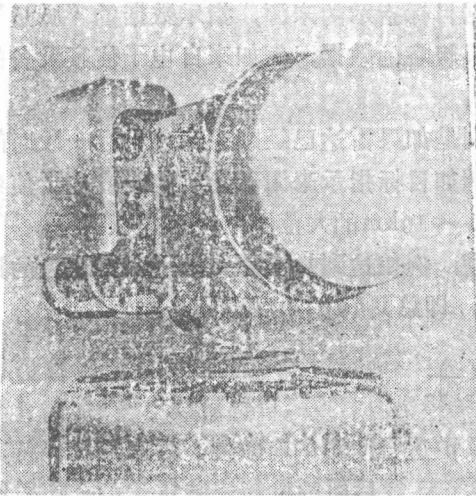


图1 9LV200MK2指向器

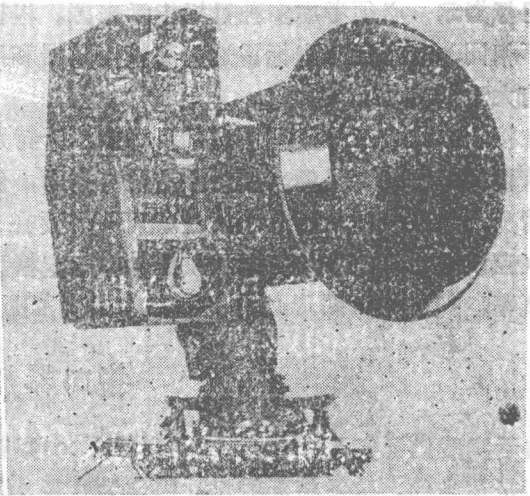


图2 9LV200MK3指向器

其后继型9LV MK3指向器（见图2）现已完成研制，并交付斯堪的纳维亚用户：瑞典的Corvettes和丹麦的“标准Flex300”。

下文将简要叙述用于控制多种武器射击的新一代舰载跟踪雷达设计中所涉及的原理和一些折中因素。

* “Selection of parameters in the design of a naval fire control radar”, pp.22-27.
(木青译，张土根校)

使用要求

广义地说，跟踪雷达应满足的使用要求可以分为下列几类：

1. 平台，即舰船的类型和吨位；
2. 所控制的武器；
3. 环境：目标，干扰等；
4. 目标指示数据的来源。

平台 在这方面的要求是根据惯例提出的，小型船只约为 150 吨。由于跟踪雷达是安装在甲板的装置，就受到尺寸和重量的附加限制。

武器 在雷达的技术设计时考虑了下列武器：

- (1) 中程舰对空导弹，例如海麻雀、海狼和海响尾蛇；
- (2) 一种或多种防空或双功能火炮，直至 5 英寸口径，用以对付空中或海上目标；
- (3) 近程武器，例如通用电气公司的海火神 30 火炮。

武器对雷达的主要影响是距离和精度的要求，精度包括低角跟踪的偏轴测量、视线指令制导的控制、弹丸校射和落点观察。

环境 规定的目标是：飞机、掠海和高仰角俯冲导弹以及小型到中型船只。为了对付 2000 年及其以后的威胁，必须有很好的抗干扰性能。

目标指示 必须考虑多种目标指示来源。根据目标指示的来源，指示数据的“质量”可能大不相同，有来自三坐标雷达的高精度数据和很粗略的数据，例如来自电子侦察设备的数据仅有大致方位。

在接收二维或三维监视雷达的目标指示，特别是如果雷达已经跟踪来袭目标一段时间，则捕获目标是比较容易的。如果没有距离指示，例如目标指示来源于光学装置或电子侦察设备的情况，捕获就比较困难。这时就可能需要在 1~10km 的大范围内快速捕获目标。

(应该提到，如果角度指示数据具有一定精度，例如达到 1σ ，那么为了获得适当的目标捕获概率，扫描捕获图形必须覆盖 $\pm 2\sigma$ 角度范围，即总共 4σ 的角度范围。)

指向器尺寸

由于实践已证实了 MK1 和 MK2 型 9LV200 跟踪雷达指向器的有效性，看来继续保持其设计思想是适当的。这就将天线尺寸固定为直径 1m，天线后面的机箱安装雷达的全部射频元部件，即发射机和接收机。

同样，即使采用最新型光电传感器换装时，也要求有同样的型式。环境要求仍将是严苛的，对于小型高速攻击艇，这意味着安装时要求保留振动和冲击隔离装置和采用液压马达（见参考文献〔1〕）。这种马达具有很高的可靠性，工作一百万小时以上而无一次故障。

雷达波长的选择

根据总尺寸确定了天线尺寸后，工作波长的选择是一种典型优化程序。

选用“长”波长意味着：

1. 波束宽，便于快速捕获；
2. 受气象即降雨的影响小；
3. 较好的多普勒和动目标显示性能；
4. 功率产生比较容易。

选用“短”波长可获得：

1. 窄波束，这意味着较高的分辨率和精度；
2. 较宽的绝对射频带宽，取决于部件的有效性。

在雷达波长和光电传感器的最后选定以前，进行了广泛的研究。在研究中假定采用中口径火炮，雷达频率包括从X波段到Ku波段和从Ka波段到W波段的94GHz，并且在受到两枚掠海导弹从间隔为 90° 的两个方向同时攻击时，对生存概率进行了模拟。

研究结果清楚表明，需要组合一种极为有效的用于快速锁定目标的传感器和一种精确跟踪的能有效降低多路径影响的传感器，而仅采用从X到Ka波段的单一频率雷达是不够的。增加一部W波段94GHz雷达是十分有价值的。但是在当时设计已经固定，特别是考虑环境时W波段还不能认为是足够成熟的，而且总是比较昂贵的。此外，它也不能完全解决掠海问题。

所以最后的选择成为：Ku波段雷达加上一部 $8\sim 12\mu\text{m}$ 的红外装置。

选择Ku波段作为上述“长”和“短”波长之间的适当平衡，也由于易于得到元器件，例如发射机中耐用的很宽波段的行波管。

Ku波段对于除掠海目标以外的所有目标都可快速捕获和高精度跟踪，对掠海目标在雷达捕获和锁定后由红外接替进行角跟踪。对 $8\sim 12\mu\text{m}$ 敏感的红外传感器，除了浓雾条件（能见度 $< 1\text{km}$ ）以外具有足够的作用距离，并且不受多路径影响。距离跟踪由雷达完成，因为在距离上多路径影响可以忽略。

发射机的选择

在选定了天线尺寸和波长后，设计的下一步是确定发射机型式和输出功率。发射机的特性很容易确定：采用相参体制和灵活的波形以及实际可能宽的射频带宽，以便充分利用频率捷变的优点。此外，功率放大器应选用现有类型，并可从一个以上的厂商供货。

所需发射机功率的初步计算表明，大约需要50W平均功率。此值也与MK2型大约45W的经验值一致。

此值作为功率的下限，这就排除了用固态级的可能性，其余最可行的选择就是行波管。于是开始进行世界范围内的广泛调研，以选择适用的行波管。

调研结果选出两种现有的稍有不同的管子：

1. 很宽频带的螺旋型，具有 $40\sim 60\text{W}$ 平均功率，适中的工作电压和传导致冷。
2. 耦合腔型， $300\sim 500\text{W}$ ，具有适中的带宽，高电压和需液冷。

所以选择是十分容易的，选定了螺旋型。这种行波管也满足具有一个以上厂商可以供货的要求。在欧洲和美国，总共有8个厂家可提供几乎相同的管子。

最后选定的供货者为AEG德律风根，该公司正在生产一种行波管，已通过北约组织的

考核，用于旋风型攻击机上。此外，德律风根公司具有卫星应用的长寿命行波管的生产经验，该管也具有普通行波管的优点。

所选定的行波管的数据如下：

- (1) 带宽 8 ~ 18GHz；
- (2) 最小峰值功率 1.25kW，占空比 4%，所以平均功率 50W；
- (3) 电子注加速电压 11kV，低压收集极；
- (4) 利用散热片传导冷却。

这种行波管经过在感兴趣的 15.5 ~ 17.5GHz 频带内进行稍加改进实现了优化，对此应用给出了满意的性能。

平均功率 50W 和天线直径 1m，对 3 m² 的飞机目标作用距离大于 30km，对 0.1m² 的导弹则接近 15km。

波 形

所选行波管的占空比为 4%，从而即可确定必须采用脉冲压缩，以便获得好的距离分辨率和足够的平均功率。机载雷达中采用的高或中脉冲重复频率 (PRF) 波形在海用雷达中是难于应用的，因为前面关于目标指示的讨论中要求瞬时覆盖全部测量距离。

因此，设计的下一步是确定 PRF 和脉冲宽度。PRF 决定于所需要的不模糊距离或测量距离，为了得到尽可能好的速度分辨率需要高 PRF。

因而最后选定的“基本” PRF 为 8 ~ 12kHz。这可给出大约 1 ~ 10km 的测量距离，其最小距离将由后面的脉冲宽度决定。这个距离范围很适合于防空火炮的射击控制。

为覆盖大于 10km 的距离范围，选择的 PRF 为 3 ~ 5 kHz，靠脉冲宽度给出足够的平均功率。得到的测量距离约为 30km，即可以延伸到上述对于飞机的捕获距离界限。

在接收机内，把两种发射脉冲宽度都压缩到满足目标尺寸和预期的两个邻近目标之间距离间隔所要求的同一脉冲宽度。即使窄脉冲将盲距扩展到大约 1 km，对于某些火控应用，例如近程武器反导弹作战，这个距离仍然太大。所以在第三种工作模式是发射非编码脉冲，宽度为 0.2μs，这时给出盲距小于 300m。在这种情况下的 PRF 也是 8 ~

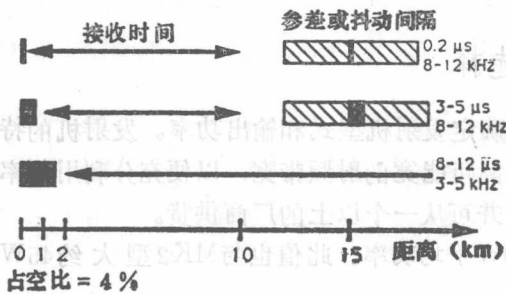


图 3 发射机波形和测量距离

12kHz，这时虽不能给出足够的平均功率，由于在近距离的信噪比总是高的，所以性能并没有恶化。

三种发射机的工作模式示于图 3。

脉 冲 压 缩

现有两种脉冲压缩技术：模拟或数字。数字技术在选择脉冲宽度和压缩比时有很好的灵

活性，但是在时间旁瓣或距离旁瓣方面不够满意。采用例如文献〔2〕的数字滤波，可将旁瓣降低到可接受的电平，但是最终结果是对多普勒频移即目标径向速度十分敏感^[8]。当径向速度已知时可进行补偿，但在某一时刻仅对一个目标有效。

此外，多普勒敏感性不仅限于增大距离旁瓣，而且在高多普勒频率时增加信号损失。目标速度不总是事先已知的，而且要在同时跟踪不同速度的几个目标，例如敌方来袭的导弹和我方射出的炮弹。因此，不能采用数字脉冲压缩。

在模拟脉冲压缩中，由于利用某种线性或非线性调频技术，所以在脉冲期间频率是变化的。这种脉冲压缩本身对多普勒是不敏感的，并且在所需的目标多普勒频率范围具有可接受的时间旁瓣的波形是容易设计的。这种脉冲压缩通常利用中频“器件”实现，所以丧失了脉冲宽度选择的灵活性。

在所选定的方案中，脉冲压缩利用声表面波滤波器在中频接收机电路内进行。在声表面波滤波器内以这样的方式对放大量进行分配，使旁瓣增大并避免俘获效应。如果脉冲压缩在A/D变换后进行，通常要影响动态范围，此方法显然是不可行的。

接收机和信号处理

脉间频率捷变可最大限度降低闪烁和提高电子抗干扰（ECCM）性能。但是，在动目标显示（MTI）或脉冲多普勒（PD）工作时，在每一频率上要求有多个脉冲，并且有足够高的模糊速度以得到好的速度响应，必须在每个频率点上成组发射。

在“MTI”方式，以8~12kHz的PRF在每个频率发射4个脉冲，这意味着在每个频率的停留时间小于0.5ms。MTI滤波器是具有4抽头采用惯用的简单高通FIR（有限脉冲响应）滤波器。

在“PD”方式，在每个频率发射32个脉冲。在这种情况下的信号处理按照FFT（快速傅里叶变换）方式进行，能抑制同时出现在同一距离单元内的两种以上不同径向速度的双模态杂波，例如海面杂波和雨或箔条杂波。

上述发射方式对雷达中的频率产生附加了特殊的要求：

1. 大量的频率（降低闪烁）和大射频带宽（ECCM）；
2. 高频谱纯度，包括在接近载频（为了MTI性能）以及远离载频（为了接收机灵敏度）处；
3. 在诸频率间快速转换。

由于需要许多个频率，所以频率合成器比用许多固定频率振荡器更为理想。要求高频谱纯度时，通常选用间接频率合成器（锁相环）。转换速度快于几十微秒通常是得不到的，而直接频率合成器可以给出的转换速度低于微秒级。

在详细分析了要求以后发现，两种间接频率合成器的组合被证明是效费比最高的方案。于是，当另一个合成器提供雷达所用的纯输



图4 频率产生的原理

出时，一个合成器可调谐在其下一个工作频率，参看图4。在两个合成器之间的转换能够做到很快。由于仅在MTI和PD方式需要接近载频的频谱纯度，至少有4个脉冲重复间隔时间用于调谐下一个合成器。

雷达方式的自适应选择

多种发射机和信号处理方式要求自动选择最佳方式。已经实现和考虑了下列各项：到目标的距离；杂波环境，例如强杂波或弱杂波，双模态杂波或无杂波；电子干扰情况。

雷达本身借助于选择正确的PRF、在每个频率上的脉冲数以及用或不用哪个频率，以适应上述环境要求。

天 线

由于多种原因，在跟踪雷达中低副瓣电平是重要的。一个原因是低空性能，另一个原因是ECCM性能。

在简单馈源的和通道中获得良好的副瓣是比较容易的，当然要在增益和副瓣之间进行照例的折中。但是在差通道中的副瓣通常却更为重要。来自远距离干扰或随行干扰进入差通道的即使少量干扰功率也会引起跟踪误差，可能使火控系统的性能严重下降。

选用的解决办法是采用多模馈源，从而可在和通道以及差通道均能获得好的副瓣。

采用这种馈源的天线，作为总设计工作的一部分已研制出来^[4]。图5表示馈源的原理^[5]，也示出最后设计的照片。图2所示直径为1m的整个天线的辐射方向图示于图6。所示的方向图是在15%全部射频频带内的平均结果。

用于对例如海麻雀导弹的制导，利用辐射的X波段连续波功率照射目标，是将一个馈电喇叭放在原天线主反射器的焦点上实现的。次反射器对垂直极化是透明的，主反射器表面具有频率选择性，在X波段不使极化扭转。

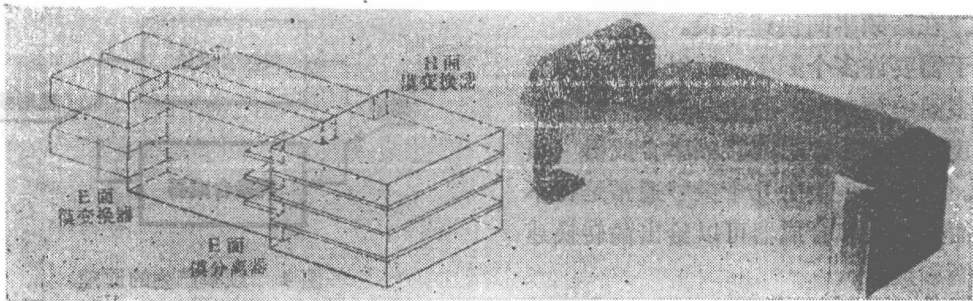


图5 多模馈源 左：原理 右：照片

最后产品的数据

发射机

型式	栅控脉冲螺线型行波管
频率范围	15.5~17.5GHz
频率数目	>100
峰值功率	1.5kW
脉宽/PRF	8~12 μ s, 3~5 kHz 3~5 μ s, 8~12kHz 0.2 μ s, 8~12kHz

发射方式

“PD”	32个脉冲组
“MTI”	4个脉冲组
频率捷变	脉间捷变

天线

型式	卡赛格伦, 多模馈源
直径	1 m
波束宽度	1.4°
增益	41dB
极化	垂直
副瓣, Σ 和 Δ 第一副瓣	>25dB
其它	>40dB rms
交叉极化	>25dB

接收机

型式	三通道振幅单脉冲, 模拟脉冲压缩
噪声系数	10dB
距离旁瓣	-35dB

信号处理

“PD”	32点FFT, 40个距离单元, 16个速度单元, 二维滑窗检测器
“MTI”	4脉冲FIR, 400个距离单元, 滑窗检测器
频率捷变	单极低通滤波器, 400个距离单元, 滑窗检测器
MTI改善因子(PD和MTI)	>30dB

精度

距离	4 m (1 σ)
角度	0.5mrad (1 σ)